

PRÁCTICA 2

(2 sesiones de clase)

Instrumentación y reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)

Autores

Natalia Johana Cabeza Gutiérrez - 2182342

Maria Angelica Bravo Bravo - 2182344

Grupo de laboratorio:

D1A

Subgrupo de clase

2

1. TRABAJO PREVIO

Investigue los parámetros eléctricos del Cable Coaxial RG-58: impedancia característica, ancho de banda, constante dieléctrica, atenuación, velocidad de propagación.

El cable coaxial RG-58 empleado en esta práctica, presenta las siguientes especificaciones según su hoja de datos:

Electrical Characteristics:

| | |
|---|-----------------------|
| Max. Conductor DC Resistance at 20°C (Ω/km) | 39.2 |
| Min. Insulation DC Resistance at 20°C (MΩ × km) | >500 |
| Operating Temperature Range | -30°C to +80°C |
| Rated Voltage(V) | 1,900V _{RMS} |
| Capacitance (pF/m) | 100 ± 5 |
| Velocity Ratio (%) | 66 |
| Impedance (Ω) | 50 ± 3 |
| Attenuation at 20°C (dB/100m) (±8%) | |
| 100MHz | 21 |
| 200 MHz | 31 |
| 1,000MHz | 76 |
| Flame Retardancy | IEC 60332-1, UL VW-1 |

Figura 1. Datasheet Cable coaxial RG-58.

2. PROCEDIMIENTO

2.1. Se realizó el siguiente montaje usando como línea de evaluación el cable coaxial RG58 A/U.

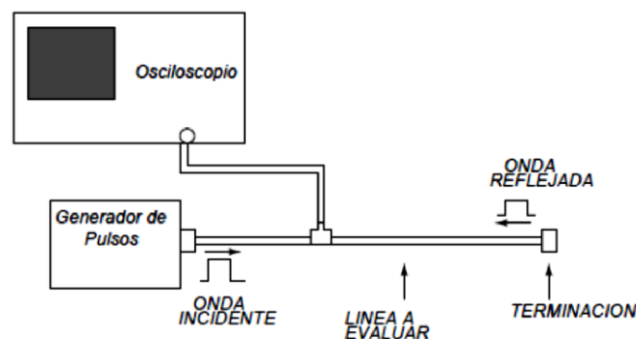


Figura 2. Montaje realizado con el cable coaxial RG-58.

2.2. Mida la distancia de los cables coaxiales

Se midió la longitud del cable. Para ello, se tomaron los valores del inicio y el final de este, siendo estos 37434 [ft] y 37558 [ft].

A partir de estos valores se obtiene la distancia real del cable:

$$d_{teo} = 37558 [ft] - 37434 [ft] = 124 [ft]$$

$$\rightarrow d_{teo} = 124 [ft] = \mathbf{37.7952 [m]}$$

Después, se procedió a encontrar esta distancia conectando diferentes cargas y a su vez con un cortocircuito, a partir de la medición del tiempo de propagación (t_d) con el osciloscopio y la siguiente fórmula:

$$d = V_p * \frac{t_d}{2}$$

Donde V_p corresponde al 66% de la constante de la velocidad de la luz (c), esto fue obtenido a partir de un datasheet del cable. Teniendo en cuenta el valor de la velocidad de propagación, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$d = 0.66 * \frac{3 \times 10^8 m}{s} * \frac{t_d [s]}{s}$$

- 2.3. Genere un tren de pulsos rectangulares, el periodo de la señal en 400 kHz y el ciclo de trabajo sobre 10 %.
- 2.4. Habilite la señal del generador de señales, obtenga las medidas de amplitud y de tiempo entre las señales incidentes y reflejadas.
- 2.5. Ajuste las escalas verticales y horizontales del osciloscopio de acuerdo con la señal generada. Ajuste los cursores horizontales sobre la onda incidente y la onda reflejada, ajuste los cursores verticales sobre el instante de tiempo donde aparece la onda incidente y la onda reflejada. Registre los valores medidos.

| $Z_L [\Omega]$ | $V^+ [V]$ | $V^- [V]$ |
|----------------|-----------|-----------|
| 0 (corto) | 1.32 | -1.20 |
| 50 | 1.35 | 0.072 |
| 22 | 1.26 | -0.32 |
| 33 | 1.29 | -0.35 |
| 56 | 1.95 | 0.15 |
| 180 | 1.94 | 1.15 |

Tabla 1. Mediciones de la señal incidente V^+ y la reflejada V^- .

- 2.6. Luego, conecte en el terminal del cable coaxial la carga tipo **corto circuito**. Registre los valores medidos.

→ Para el **cortocircuito** se obtuvo un $t_d = 398 \text{ ns}$. Se realizó nuevamente la operación y se obtuvo lo siguiente:

$$d = 0.66 * (3 \times 10^8) * \left(\frac{398 \times 10^{-9} \text{ ns}}{2} \right)$$

$$\rightarrow \mathbf{d = 39.402 \text{ m}}$$

Comparando este resultado con el valor teórico, se tiene un porcentaje de error de 4.25%.

Luego, se procedió a hallar el coeficiente de reflexión de forma teórica, resultando:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{0 - 50}{0 + 50} = -1$$

Dicho resultado implica que la señal reflejada invirtió su fase.

Y, por otro lado, de forma experimental, consiste en la relación de la onda reflejada y la onda incidente, teniendo que:

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{-1.20}{1.32} = -0.909$$

2.7. Conecte en el terminal del cable coaxial la **carga de 50 Ω** . Registre los valores medidos.

→ Para el caso de la carga de **50 Ω** , se obtuvo un $t_d = 404$ ns. Por lo que se realizó la operación y se obtuvo la siguiente distancia:

$$d = 0.66 * (3 \times 10^8) * \left(\frac{404 \times 10^{-9} \text{ ns}}{2} \right)$$

$$\rightarrow d = 39.99 \text{ m}$$

Comparando este resultado con el valor teórico, se obtuvo un porcentaje de error del 5.8%.

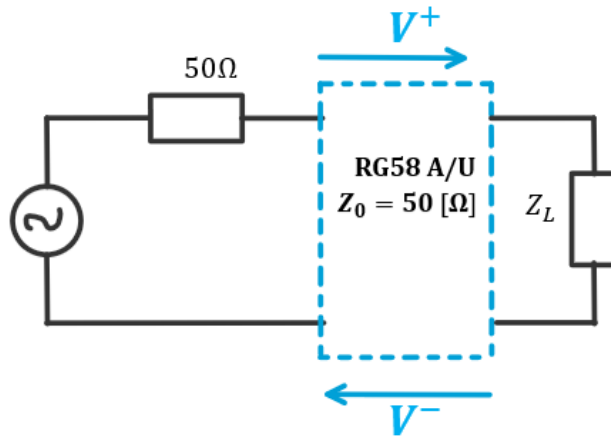


Figura 3. Conexión de impedancia de carga Z_L en el modelo de la línea.

Luego, se procedió a encontrar el coeficiente de reflexión de forma teórica, visto desde ese punto, por medio de la siguiente fórmula:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Donde Z_L es la impedancia de carga, que en nuestro caso es **50 Ω** y Z_0 es la impedancia característica del cable, la cual es **50 Ω** . El hecho de que ambas impedancias sean iguales implica que no hay reflexiones en la línea, es decir, se da un acople perfecto de las mismas, lo que indica también que no hay cambios de tensión a lo largo de la línea.

$$\Gamma = \frac{50 - 50}{50 + 50}$$

$$\rightarrow \Gamma = 0$$

Dicho valor en el coeficiente de reflexión quiere decir que ninguna parte de la señal se reflejó y que fue transmitida por completo a la carga.

Y, por otro lado, de forma experimental, consiste en la relación de la onda reflejada y la onda incidente, teniendo que:

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{0.072}{1.35} = 0.053$$

2.8. Conecte en el terminal del cable coaxial dos cargas diferentes con valores superiores a 50 Ω y dos cargas con valores inferiores a 50 Ω . Registre los valores medidos.

→ **Para cargas inferiores a 50 Ω :**

- **Carga de 22 Ω :**

$$\Gamma = \frac{22 - 50}{22 + 50} = -0.38$$

Este valor indica que se invierte un 38% de la señal.

De forma experimental se obtiene:

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{-0.32}{1.26} = 0.25$$

- **Carga de 33 Ω :**

$$\Gamma = \frac{33 - 50}{33 + 50} = -0.2$$

Este valor indica que se invierte un 20% de la señal.

De forma experimental se obtiene:

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{-0.35}{1.29} = 0.27$$

→ **Para cargas superiores a 50 Ω :**

- **Carga de 56 Ω :**

$$\Gamma = \frac{56 - 50}{56 + 50} = 0.05$$

Esto quiere decir que se reflejó un 5% de la señal.

De forma experimental se obtiene:

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{0.15}{1.95} = 0.07$$

- **Carga de 180 Ω :**

$$\Gamma = \frac{180 - 50}{180 + 50} = 0.56$$

Este valor indica que se refleja un 56% de la señal.

De forma experimental se obtiene:

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{1.15}{1.94} = 0.59$$

3. INSTRUMENTACIÓN

Para realizar la configuración del USRP como transmisor se realizó el siguiente montaje:

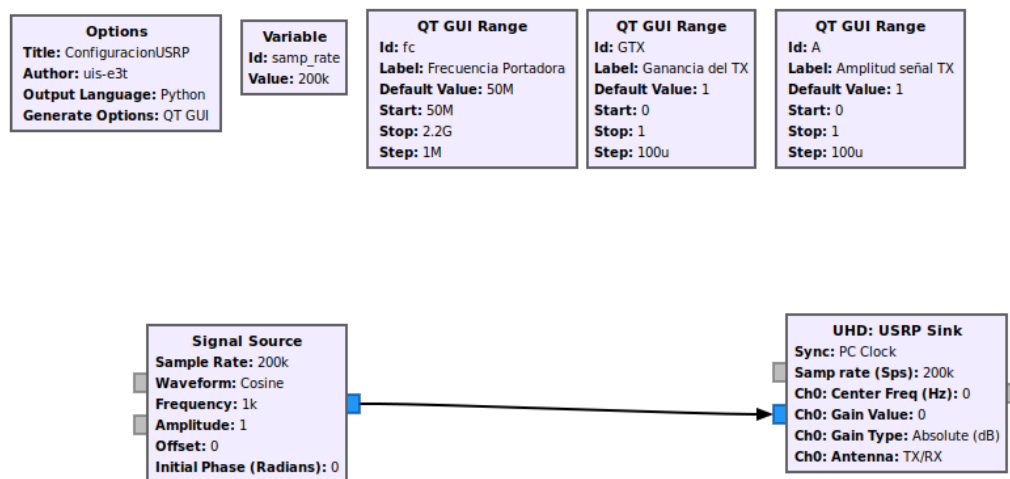


Figura 4. Montaje realizado en GNURadio.

3.1 SDR – OSCILOSCOPIO

Tomando como referencia el SDR como generador de señales y el canal 1 del osciloscopio, se toman los datos correspondientes a la amplitud leída en el osciloscopio al realizar variaciones de la frecuencia de transmisión desde los 50 MHz hasta los 130 MHz y manteniendo la amplitud de la señal constante.

| FC = 50 MHz | |
|-------------------|------------------------------------|
| Amplitud generada | Amplitud medida en el osciloscopio |
| 1 | 382.12 mV |
| 0.5 | 380.16 mV |
| 0.25 | 382.14 mV |
| 0.125 | 380.16 mV |
| 0.0625 | 415.8 mV |
| FC = 75 MHz | |
| Amplitud generada | Amplitud medida en el osciloscopio |
| 1 | 510.84 mV |
| 0.5 | 512.82 mV |
| 0.25 | 487.08 mV |
| 0.125 | 489.06 mV |
| 0.0625 | 487.08 mV |
| FC = 100 MHz | |
| Amplitud generada | Amplitud medida en el osciloscopio |
| 1 | 425.70 mV |
| 0.5 | 429.66 mV |
| 0.25 | 427.68 mV |
| 0.125 | 431.64 mV |
| 0.0625 | 435.60 mV |
| FC = 130 MHz | |
| Amplitud generada | Amplitud medida en el osciloscopio |
| 1 | 114.84 mV |
| 0.5 | 116.82 mV |
| 0.25 | 122.76 mV |
| 0.125 | 118.80 mV |
| 0.0625 | 120.78 mV |

Tabla 2. Resultados obtenidos por medio del osciloscopio.

3.2 SDR – ANALIZADOR DE ESPECTROS

Para esta parte del laboratorio, se realiza la transmisión entre dos grupos, el primero genera una señal desde el radio, y el otro se encarga de medir la señal desde el analizador de espectros usando el cable RG58 A/U empleado en el ítem anterior. Se utilizó un SDR como generador de señales y un analizador de espectros como equipo de medición, se conectó el cable RG-58 y un atenuador de 30 dB.

Realizando variaciones de la ganancia del transmisor para cada valor de frecuencia de transmisión (f_c), se obtienen los siguientes resultados:

| Frecuencia de operación (f_c) MHz | Ganancia del transmisor (GTx=0) [dBm] | Ganancia del transmisor (GTx=10) [dBm] | Ganancia del transmisor (GTx=20) [dBm] | Ganancia del transmisor (GTx=30) [dBm] |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|
| 50 | -43,61 | -36,6 | -25,41 | -19,55 |
| 60 | -43,03 | -33,23 | -23,54 | -17,38 |
| 70 | -42,78 | -33,11 | -23,37 | -16,38 |
| 80 | -43,12 | -33,39 | -23,57 | -16,57 |
| 90 | -43,31 | -33,56 | -23,73 | -17,32 |
| 100 | -43,72 | -34,73 | -24,79 | -17,93 |
| 200 | -48,05 | -39,39 | -29,6 | -25,02 |
| 300 | -51,9 | -42,31 | -32,58 | -24,79 |
| 400 | -53,48 | -43,63 | -34,03 | -26,35 |
| 500 | -58,46 | -49,5 | -39,92 | -29,64 |
| 600 | -60,03 | -51,89 | -41,40 | -34,7 |
| 700 | -62,7 | -52,7 | -43,27 | -35,11 |
| 800 | -64,41 | -55,09 | -45,74 | -37,11 |
| 900 | -67,36 | -57,79 | -48,16 | -39,57 |
| 1000 | -69,8 | -60,36 | -50,76 | -42,06 |
| 2000 | No se visualiza | -84,28 | -75,92 | -67,48 |

Tabla 3. Resultados obtenidos por medio del analizador de espectros.

4. ANÁLISIS DE DATOS

DESARROLLO DEL OBJETIVO 1. PRESENTE A CONTINUACIÓN LOS RESULTADOS DEL OBJETIVO 1.

Obtenga el coeficiente de reflexión para cada una de las cargas agregadas al final de la línea de transmisión, explique la importancia de su análisis.

- Para una carga de 50 Ω :

$$\Gamma = \frac{50 - 50}{50 + 50} = 0$$

- Para una carga de 22 Ω :

$$\Gamma = \frac{22 - 50}{22 + 50} = -0.38$$

- Para una carga de 33 Ω :

$$\Gamma = \frac{33 - 50}{33 + 50} = -0.2$$

- Para una carga de 56 Ω :

$$\Gamma = \frac{56 - 50}{56 + 50} = 0.05$$

- Para una carga de 180 Ω :

$$\Gamma = \frac{180 - 50}{180 + 50} = 0.56$$

Como se puede observar, el hecho de tener una impedancia de carga del mismo valor que la impedancia característica de la línea, implica un coeficiente de reflexión igual a cero, lo cual es el caso ideal para evitar que se produzcan reflexiones en la línea, y toda la señal pueda ser transferida a la carga. Por el contrario, en los casos en que la impedancia de carga es menor a la impedancia característica, hay reflexión e inversión de la fase de la señal.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos, encuentre la atenuación de las líneas de transmisión utilizadas en la práctica.

La atenuación de las líneas se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$A_L = \frac{V_i}{V_o}$$

| $Z_L [\Omega]$ | $A_L [dB]$ |
|----------------|------------|
| 0 | 0.827 |
| 50 | 25.46 |
| 22 | 11.90 |
| 33 | 11.33 |
| 56 | 22.27 |
| 180 | 4.54 |

Realice una descripción general de los comportamientos con los terminales en circuito abierto, cortocircuito y carga acoplada ($Z_L = 50 \Omega$) en las líneas de transmisión.

- Con circuito abierto, se observa que toda la señal se refleja, ya que no hay una carga conectada a la línea, porque para que sea circuito abierto, la impedancia de carga tiende a infinito, lo cual implica un coeficiente de reflexión igual a uno.
- Con cortocircuito, se observa que la señal se refleja, pero con una inversión de fase.
- Con carga de 50Ω , se presenta el caso ideal, ya que toda la señal es transmitida a la carga y al ser de igual valor que la impedancia característica, el coeficiente de reflexión es igual a cero.

DESARROLLO DEL OBJETIVO 2. PRESENTE A CONTINUACIÓN LOS RESULTADOS DEL OBJETIVO 2.1.

Determine la ganancia de amplitud del cable para cada valor de frecuencia de usado. Grafique estos valores en escala semilogarítmica.

- **Amplitud = 1V**

| FRECUENCIA [MHz] | GANANCIA [V/V] |
|------------------|----------------|
| 50 | 0,38212 |
| 75 | 0,51084 |
| 100 | 0,4257 |
| 130 | 0,11484 |

- **Amplitud = 0.5V**

| FRECUENCIA [MHz] | GANANCIA [V/V] |
|------------------|----------------|
| 50 | 0,76032 |
| 75 | 1,02564 |
| 100 | 0,85932 |
| 130 | 0,23364 |

- **Amplitud = 0.25V**

| FRECUENCIA [MHz] | GANANCIA [V/V] |
|------------------|----------------|
| 50 | 1,52856 |
| 75 | 1,94832 |
| 100 | 1,71072 |
| 130 | 0,49104 |

- Amplitud = 0.125V

| FRECUENCIA [MHz] | GANANCIA [V/V] |
|------------------|----------------|
| 50 | 3,04128 |
| 75 | 3,91248 |
| 100 | 3,45312 |
| 130 | 0,9504 |

- Amplitud = 0.0625

| FRECUENCIA [MHz] | GANANCIA [V/V] |
|------------------|----------------|
| 50 | 6,6528 |
| 75 | 7,79328 |
| 100 | 6,9696 |
| 130 | 1,93248 |

Reuniendo los resultados de todas las amplitudes en una única gráfica, se obtiene lo siguiente:

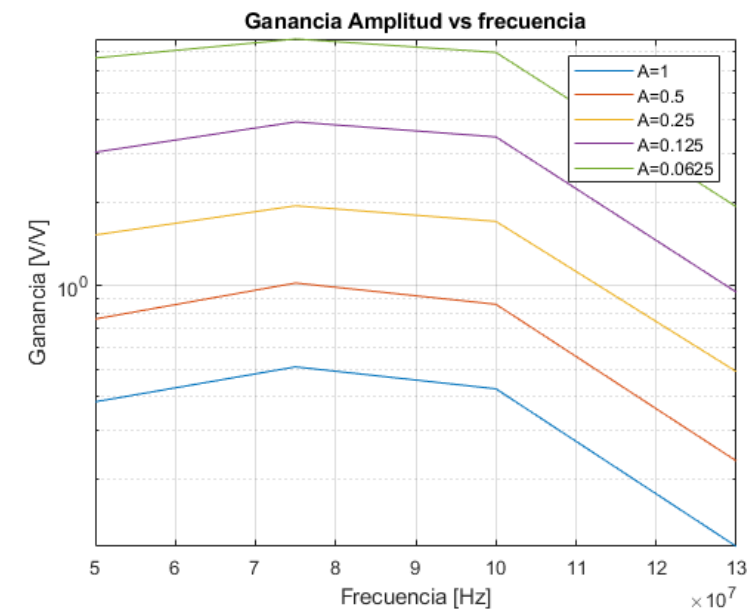


Figura 5. Gráfica de ganancias en escala semilogarítmica.

¿Es posible medir una señal que opera a una frecuencia central de 100 MHz y un ancho de banda de 20 MHz con el osciloscopio del laboratorio de comunicaciones? Justifique su respuesta.

Para revisar lo que sucedía en este caso, realizamos una medición a un valor de frecuencia superior a 100 MHz, obteniendo como resultado una señal un poco distorsionada. Esto concuerda con los resultados esperados, ya que el osciloscopio con que disponemos en el laboratorio tiene un límite de frecuencia en 100 MHz. Por ende, se concluye que no es posible medir una señal de dichas características con el osciloscopio de la universidad.

DESARROLLO DEL OBJETIVO 2. PRESENTE A CONTINUACIÓN LOS RESULTADOS DEL OBJETIVO 2.2.

Determine la atenuación del cable RG58 A/U para cada valor de ganancia del transmisor usado.

Empleando la siguiente fórmula para calcular la potencia del trasmisor se tiene:

$$P_{Tx} = P_{Rx} - G_T + \text{Atenuador} + \text{Atenuación}_{\text{cable}}$$

Donde:

$$\text{Atenuador} = -30 \text{ dB}$$

$$\text{Longitud}_{\text{cable}} = 24.384 \text{ m}$$

Para frecuencia de 50 MHz

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 12.2 \text{ dB}/_{100\text{m}} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 2.974 \text{ dB}$$

- **$G_{Tx} = 0 \text{ dB}$**

$$P_{Tx} = -40.636 \text{ dB} = -10.636 \text{ dBm}$$

- **$G_{Tx} = 10 \text{ dB}$**

$$P_{Tx} = -43.626 \text{ dB} = -13.62 \text{ dBm}$$

- **$G_{Tx} = 20 \text{ dB}$**

$$P_{Tx} = -42.436 \text{ dB} = -12.436 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 30 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -46.576 \text{ dB} = -16.576 \text{ dBm}$$

Para frecuencia de 100 MHz

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 12.2 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 4.340 \text{ dB}$$

- $G_{Tx} = 0 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -39.38 \text{ dB} = -9.38 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 10 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -40.39 \text{ dB} = -10.39 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 20 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -40.45 \text{ dB} = -10.45 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 30 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -43.59 \text{ dB} = -13.59 \text{ dBm}$$

Para frecuencia de 200 MHz

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 26.6 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 6.486 \text{ dB}$$

- $G_{Tx} = 0 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -41.564 \text{ dB} = -11.564 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 10 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -42.904 \text{ dB} = -12.904 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 20 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -43.114 \text{ dB} = -13.114 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 30 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -48.534 \text{ dB} = -18.534 \text{ dBm}$$

Para frecuencia de 400 MHz

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 40.7 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$Atenuación_{cable} = 9.924 \text{ dB}$$

- $G_{Tx} = 0 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -43.556 \text{ dB} = -13.556 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 10 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -43.706 \text{ dB} = -13.706 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 20 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -44.106 \text{ dB} = -14.106 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 30 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -46.426 \text{ dB} = -16.426 \text{ dBm}$$

Para frecuencia de 700 MHz

$$Atenuación_{cable} = 58.1 \text{ dB}/_{100m} * 24.384m$$

$$Atenuación_{cable} = 14.167 \text{ dB}$$

- $G_{Tx} = 0 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -48.533 \text{ dB} = -18.533 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 10 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -48.533 \text{ dB} = -18.533 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 20 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -49.103 \text{ dB} = -19.103 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 30 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -50.943 \text{ dB} = -20.943 \text{ dBm}$$

Para frecuencia de 1000 MHz

$$Atenuación_{cable} = 74.9 \text{ dB}/_{100m} * 24.384m$$

$$Atenuación_{cable} = 18.263 \text{ dB}$$

- $G_{Tx} = 0 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -51.537 \text{ dB} = -21.537 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 10 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -52.097 \text{ dB} = -22.097 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 20 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -52.497 \text{ dB} = -22.497 \text{ dBm}$$

- $G_{Tx} = 30 \text{ dB}$

$$P_{Tx} = -53.797 \text{ dB} = -23.797 \text{ dBm}$$

Determine la atenuación del cable por unidad de longitud y compare los datos medidos con la hoja de datos del fabricante. Justifique a que se debe el margen de error.

- **Para frecuencia de 50 MHz**

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 12.2 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 2.974 \text{ dB}$$

- **Para frecuencia de 100 MHz**

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 12.2 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 4.340 \text{ dB}$$

- **Para frecuencia de 200 MHz**

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 26.6 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 6.486 \text{ dB}$$

- **Para frecuencia de 400 MHz**

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 40.7 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 9.924 \text{ dB}$$

- **Para frecuencia de 700 MHz**

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 58.1 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 14.167 \text{ dB}$$

- **Para frecuencia de 1000 MHz**

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 74.9 \text{ dB}/100\text{m} * 24.384\text{m}$$

$$\text{Atenuación}_{\text{cable}} = 18.263 \text{ dB}$$

¿Es posible medir una señal que opera a una frecuencia central de 2200 MHz y un ancho de banda de 20 MHz con el analizador de espectro del laboratorio de comunicaciones?, justifique su respuesta.

Al revisar los resultados obtenidos, podemos comprobar que, si es posible medir una señal a una frecuencia de 2200MHz con un ancho de banda de 20MHz. Sin embargo, sólo se podrá visualizar dicha medición teniendo un valor de ganancia superior a 10 dB.

4. CONCLUSIONES

En esta práctica, se pudo comprobar el caso ideal en una línea de transmisión, el cual se basa en tener un coeficiente de reflexión igual a cero, donde toda la señal transmitida llega a la carga y no se presentan reflexiones a lo largo de la línea. A su vez, al conectar cargas mayores a la impedancia característica, se comprobó que el porcentaje de onda reflejado no invertía su fase, a diferencia que cuando dicha carga era menor, reflejándose en contrafase.

Por otro lado, cuando se varió la amplitud de la señal coseno y se observó el resultado obtenido en el osciloscopio, se evidenció que, al aumentar el valor de frecuencia, se presentaban variaciones cada vez menos significativas en cuanto a la amplitud de la señal resultante en comparación a las mediciones obtenidas con los otros valores de amplitud.

Finalmente, por medio del analizador de espectros, se comprobó que, al aumentar el valor de ganancia, se evidencia un aumento en la amplitud del espectro resultante para cada valor de frecuencia establecido. En cada caso, se comprobó lo que se esperaba que, al tener cierto valor de ganancia, aumentara en la misma proporción la amplitud del espectro.